

расчетные характеристики. Основным расчетным параметром, получаемым при компьютерном моделировании, является параметр  $S_{21}$ , являющийся коэффициентом передачи. В результате моделирования получена амплитудно-частотная характеристика, представленная на рис. 2.

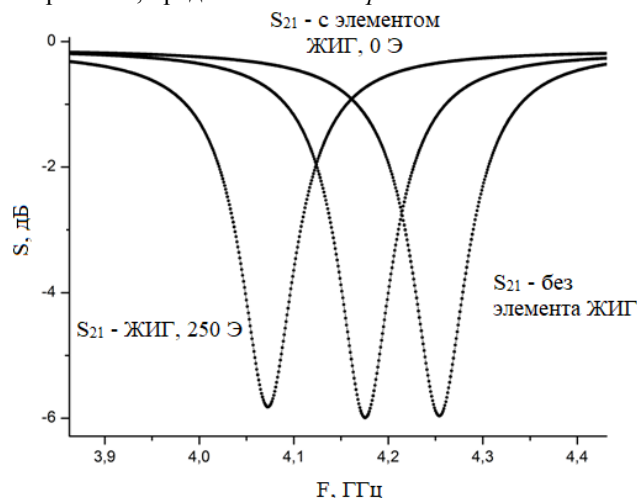


рис.2 – Амплитудно-частотная характеристика сплит-кольцевого резонатора на основе метаматериалов.

Полученные результаты моделирования показывают, что при добавлении ферритового элемента ЖИГ и приложении к нему магнитного поля, в структуру сплит-кольцевого резонатора, осуществляется электронная перестройка резонансной характеристики. При величине магнитного поля  $H_0=250$  Э, сдвиг резонансной кривой составил 180 МГц относительно структуры без добавления элемента ЖИГ. На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что использование метаматериалов и ферритовых элементов позволяет проектировать новые управляемые устройства с использованием метаматериалов и ферритовых элементов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00391.

Список публикаций:

- [1] S. Sunbeam Islam, M. R. Iqbal Faruque, M. Tariqul Islam, Md. Moinul Islam, and N. Misran "New NRI Metamaterial for Multi-band Operation," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 8, 2016, pp. 171-173.
- [2] S. Sunbeam Islam, M. R. Iqbal Faruque, and M. Tariqul Islam, "A new direct retrieval method of refractive index for the metamaterial," *Current Science*, vol. 109, 2015, pp. 337-342.
- [3] W. Withayachumnankul, C. Fumeaux, and D. Abbott, "Compact electric-LC resonators for metamaterials," *Optics Express*, vol. 18, 2010, pp. 25912-25921.
- [4] W. Withayachumnankul, K. Jaruwongrungsueb, A. Tuantranont, C. Fumeaux and D. Abbott, "Metamaterial-based microfluidic sensor for dielectric characterization," *Sensors and Actuators*, vol. 189, 2013, pp. 233-237.

## Магнитные гистерезисные свойства быстрозакаленных сплавов на основе интерметаллида $Pr_2Fe_{14}B$

**Мальцева Виктория Евгеньевна**

Волегов Алексей Сергеевич, Андреев Сергей Витальевич, Болячкин Антон Сергеевич

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Волегов Алексей Сергеевич, к.ф.-м.н.

[viktoria.maltseva@urfu.ru](mailto:viktoria.maltseva@urfu.ru)

Одним из классов функциональных материалов, необходимых при проектировании и эксплуатации современных высокотехнологичных устройств, являются магнитотвёрдые материалы и изготавливаемые из них постоянные магниты. Постоянные магниты используются в трех основных типах устройств:

- 1) преобразователи электрической энергии в механическую (вентильные электрические двигатели, актюаторы и др.);
- 2) преобразователи механической энергии в электрическую (электрические генераторы);
- 3) устройства создания магнитных полей различной конфигурации (зажимы, магнитные захваты, магнитные системы масс-спектрометров и др.).

Поскольку потенциал магнитных гистерезисных свойств магнитотвердых материалов и изготовленных из них постоянных магнитов использован на 85 – 90 %, одним из наиболее перспективных путей дальнейшего улучшения их свойств является создание композиционных магнитных материалов на основе наноразмерных зерен магнитных фаз с разными фундаментальными свойствами: ферро- или ферримагнитной фазы с большим

значением поля анизотропии, обеспечивающей высокую коэрцитивную силу, и ферромагнитную с высокой спонтанной намагниченностью. Сочетание в одном материале различных веществ позволяет получать композиты, обладающие уникальными функциональными свойствами [1]. Магнитных соединений, которые бы обладали сразу обоими качествами, до сих пор не удалось обнаружить.

Теоретически показано, что максимальное энергетическое произведение  $(BH)_{\max}$  системы  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3/\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$  может достигать значений больших, чем  $1090 \text{ кДж/м}^3$  ( $137 \text{ МГсЭ}$ ) при комнатной температуре [2]. Попытки создания подобного композита не привели к получению таких характеристик. Одна из причин заключается в использовании при расчетах модели когерентного вращения намагниченности соседних зерен различных фаз при теоретическом рассмотрении. По всей видимости, эта модель не вполне соответствует процессам перемагничивания в реальных образцах [3].

Целью настоящей работы является изучение магнитных гистерезисных свойств композиционных быстроохлажденных сплавов на основе интерметаллида  $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ .

В качестве образцов для исследования зависимости коэрцитивной силы ( $H_c$ ), намагниченности насыщения ( $\sigma_s$ ), остаточной намагниченности ( $\sigma_r$ ) от температур отжига, значений напряженностей прикладываемых магнитных полей, температур, при которых проводятся измерения петель гистерезиса, синтезированы быстроохлажденные сплавы с различным содержанием основной магнитотвердой фазы  $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  и  $\alpha\text{-Fe}$ .

Наноструктурные сплавы получены методом индукционного плавления в кварцевом тигле исходных компонентов с последующей разливкой на железный диск, вращающийся с линейной скоростью движения поверхности  $30 \text{ м/с}$ . Полученные ленты подвергались отжигу в вакууме при температурах  $600 - 750^\circ\text{C}$  с шагом  $25^\circ\text{C}$  в течение 30 минут. Магнитные гистерезисные свойства всех образцов после отжига измерены при комнатной температуре посредством вибрационного магнитометра КВАНС-1. Определены образцы с наибольшими значениями коэрцитивной силы и остаточной намагниченности (рис. 1).

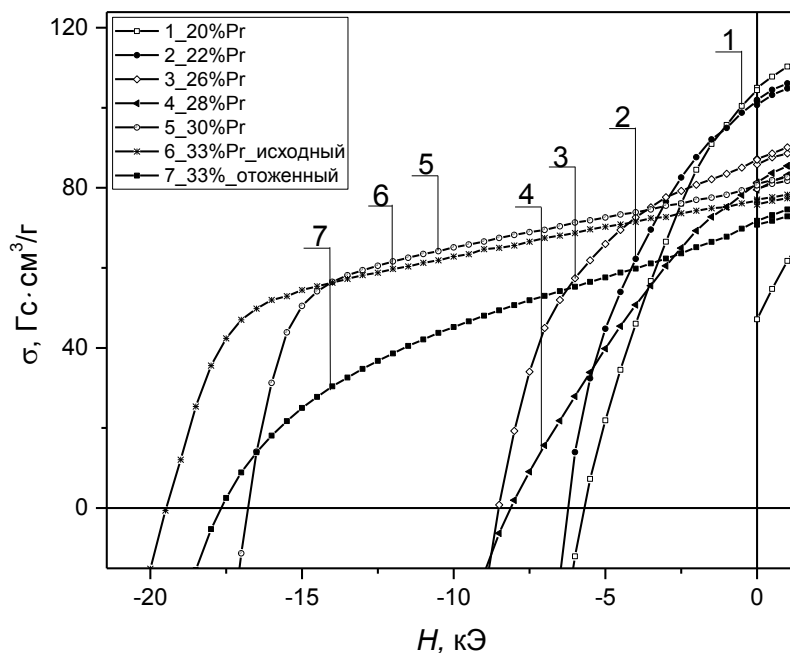


рис. 1. Предельные петли гистерезиса, измеренные посредством КВАНС – 1.

Дальнейшие измерения магнитных свойств образцов с наибольшими  $H_c$  и  $\sigma_r$  выполнены посредством измерительной системы DynaCool 9 T с напряженностью магнитного поля до  $90 \text{ кЭ}$  в диапазоне температур  $2 - 300 \text{ К}$ . Измерение предельных петель гистерезиса выполнено при различных температурах с целью варьирования поля анизотропии и коэрцитивной силы зерен магнитотвердой фазы.

В докладе более подробно будут представлены полученные результаты и предложены пути проведения дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках гранта МК-1746.2020.2.

Список публикаций:

- [1] Мальцева В.Е., Андреев С.В., Волегов А.С. // СПФКС -20. Тез. Докл. XX Юбил. Всеросс. Школы-семинара по проб. ФКС Екатеринбург, 2019. С. 64.
- [2] R. Skomski, J. M. D. Coe. // PH. REV. B. 1993. V. 48, № 21. P. 15812.
- [3] A. S. Bolyachkin, et. al. // JMMM. 2019. P. 165270.